

凍害劣化を抑制する化学混和剤の諸特性

その1 抑制メカニズムとコンクリート試験結果

(株)フローリック 正会員 ○ 西 祐宜
 同 正会員 松沢 友弘
 北海道大学 正会員 名和 豊春

1. はじめに

寒冷地におけるコンクリート構造物の耐凍害性の確保は過去より非常に重要な課題である。本研究では凍害劣化を抑制する新たな化学混和剤の諸性質について報告する。

2. 凍結融解時の気泡の効果

過去よりコンクリート中にエントレインドエアを適正量導入することで、コンクリート構造物は耐凍害性を担保してきた。Powers は、氷晶生成による 9%の体積膨張により排出される未凍結水の水圧により凍害劣化が生じる現象を報告し、この水圧が気泡(漏出境界:escape boundary)までの距離に影響するため、ある間隔で気泡を連行する必要性を説いた。例えば、飽水状態の NonAE コンクリートが凍結した際は、凍結に伴い膨張し、残留ひずみを示す。繰り返し凍結融解作用を受けた場合、残留ひずみは累積し破壊に至る。また、水分供給環境下では、コンクリート中の含水率が累積され、凍結水量が増加し破壊の進行は促進される。コンクリートにエントレインドエアを適正量連行した場合は、凍結に伴い収縮し、融解後に残留ひずみを生じず凍結前の体積に戻る。この現象は、飽水度の高低および適正量のエントレインドエアの有無により、大きくセメント硬化体中の水分移動が変化することを示唆している。例えば、一般的な環境下では毛細管中の水分とゲル内の水分は平衡状態を保っているが、凍結時には平衡状態が保てず、毛細管中で生成した氷晶に対し、化学ポテンシャル差を駆動力にゲル水が移動するためセメント硬化体は収縮する。凍害劣化機構は、物理化学モデル²⁾³⁾、統計モデル⁴⁾、確率モデル⁵⁾が提案され、各々、凝固点降下・細孔構造・凍結水量・気泡間隔・飽水度等の要因をインプットして評価される。一般的なモデルとして、高飽水度時の水圧説(Hydraulic Pressure Theory)¹⁾、低飽水度時の巨視的冰相分離モデル⁶⁾が挙げられる。前者は、限界飽水理論(Theory of Critical Saturation)で説明され、飽水度 0.917 で水圧は発生しないとされる。後者は、凍結時に氷晶の平衡蒸気圧となるまで未凍結水が水蒸気で粗大空隙へ移動するモデルである。何れのモデルも水分の移動に起因する破壊メカニズムを提唱している点に着目すれば、凍結融解作用時に水分移動が生じさせない、もしくは、水分移動を抑制することが耐凍害性の向上に繋がると考えられる。また、細孔径に依存した凝固点降下を考慮すれば、粗大空隙から凍結が進行するため、毛細管空隙量の減少および空隙経路の遮断は、氷晶浸透の遮断および未凍結水移動の抑制に繋がる。筆者ら⁷⁾は、収縮低減剤の使用による耐凍害性の低下を改善するためにセメント硬化体中に、約 20 μ m(分布は約 1~110 μ m)の比較的粗大な疎水性化合物を導入すること

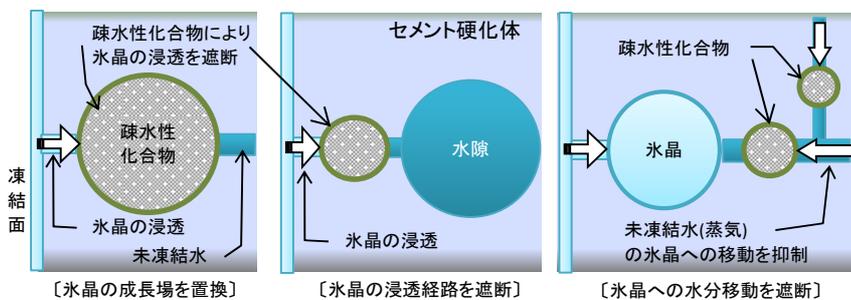


図2 疎水性化合物による凍害劣化抑制方法

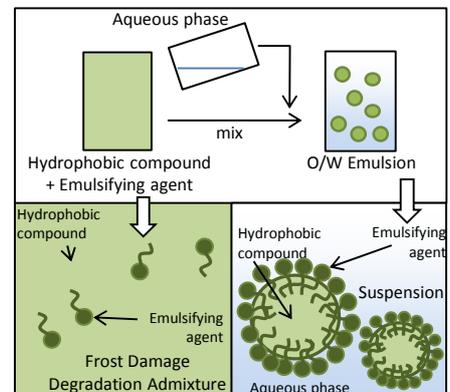


図2 疎水性化合物の導入方法

キーワード コンクリート, 凍結融解, 凍害劣化, 気泡, 粒子径分布, 疎水性化合物

連絡先 〒300-2622 茨城県つくば市要 33-1 (株)フローリック 技術本部 コンクリート研究所 TEL029-877-1945

を提案し、効果を実証している。この化合物は油性物質であり、水分と共に移動することはない。また、毛細管空隙の連続性を絶つ効果が示唆されており、通常のコンクリートを NonAE 化しても、疎水性化合物により凍害劣化を抑制できると考えた。NonAE 化はコンクリートの品質管理項目を減じ、空気量の管理が不必要になるため、安定した品質のコンクリート製造に寄与できる可能性が考えられる。また、強度増加に伴う耐久性の向上も期待できる。図 1 に疎水性化合物による凍害劣化抑制方法、図 2 に疎水性化合物の導入工程を示す。

3. 実験概要

油性物質および油性物質を水相に分散させる乳化剤から成る疎水性化合物を使用して、アルカリ条件下でのエマルジョン(疎水性化合物)の粒子径測定を実施した。測定は散乱式粒度

表 1 コンクリートの調合と練混ぜ方法

W/C (%)	s/a (%)	設計 Air(%)	単位量(kg/m ³)				疎水性化合物 (kg/m ³)
			W	OPC	S	G	
55.0	44.9	1.5	165	300	846	1057	1 および 4

練混ぜ方法：1/2S+C+1/2S→10sec.→W+AD→60sec.→G→90sec.→疎水性化合物→30sec.→排出

分布レーザー回折で実施した。アルカリ水はイオン交換水と普通ポルトランドセメントを使用して作製した。水セメント比 2000%のセメントペーストを保留粒子 1μm のろ紙で 2 回ろ過したアルカリ水で 0.1%水溶液を調整した。また、コンクリートで凍結融解試験(JIS A 1148:2001)を実施した。使用材料は、上水道水、普通ポルトランドセメント 3 種等量混合(密度=3.16g/cm³)、掛川産山砂(表乾密度=2.59g/cm³, 吸水率=2.05%, F.M.=2.80)、青梅産硬質砂岩砕石(表乾密度=2.65g/cm³, 吸水率=0.67%)、分散剤は AE 減水剤標準形 I 種である。疎水性化合物は調合の外割りとして混和している。AE 減水剤添加率は一定で、目標スランプは 8±1.5cm、目標空気量 2.0±1.0 とした。AE 剤は使用せず、NonAE コンクリートとして製造した。表 1 に配合を示す。

4. 実験結果および考察

図 3 に粒子径と頻度の関係、図 4 にサイクル数と相対動弾性係数の関係を示す。フレッシュコンクリートは目標品質を得られた(空気量: NonAE コンクリート=2.1%、疎水性化合物 1kg 混和=2.8%、4g 混和=3.0%)。図 4 に示すように、疎水性化合物は 10~150μm(平均径 38.67μm)に分布しており、このサイズに近似したサイズでコンクリートに導入されると考えられる。図 4 に示す凍結融解試験は NonAE は若サイクルで破壊に至り、疎水性化合物を使用したコンクリートは、300 サイクルまで相対動弾性係数 60%以上を保っており、空気泡に頼らず、耐凍害性を満足している。

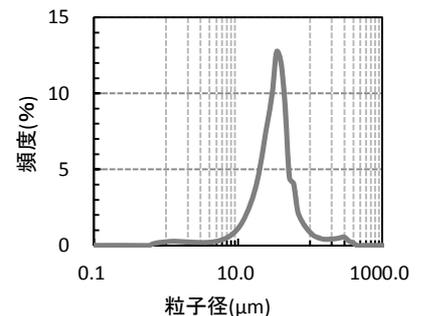


図 3 粒子径と頻度の関係

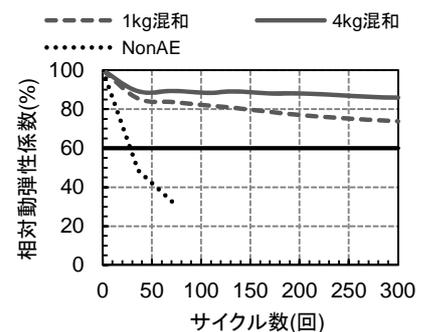


図 4 サイクル数と相対動弾性係数の関係

5. まとめ

毛細管空隙の遮断により耐凍害性を向上させる化学混和剤を設計した。コンクリート中に 10~150μm の疎水性化合物を導入することで、低空気量であっても耐凍害性を確保できる可能性を示唆した。

参考文献

- 1) Powers, T.C. : The Air Requirement of Frost Resistant Concrete, Proc. Highway Research Board, 29, p.184-211, 1949
- 2) Fegerlund, G. : The Critical Degree of Saturation Method of Assessing the Freeze Thaw Resistance Of Concrete, Mater. Constr., 10, pp.217-229, 1978
- 3) Bazant, Z.P., Chern, J-C., Rosenberg A.M., Gaidis, J.M. : Mathematical Model for Freeze Thaw Durability of Concrete, J. Am. Ceram.Soc., 71(9), pp.779-783, 1988
- 4) 鎌田英治, 千歩修, 田畑雅幸, 田中宏和 : コンクリートの耐凍害性におよぼす細孔構造の役割についての統計的解析, 日本建築学会構造系論文集, 第 487 号, pp.1-9, 1996.9
- 5) 三橋博三, 成田健, 平井和喜 : コンクリートの凍害劣化モデルに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 450 号, pp.1-6, 1993
- 6) Litvan, G.G. : Adv.in Colloid and Interf.Sci., 9, 253, 1978
- 7) 西祐宜, 名和豊春 : 凍結融解作用による劣化抵抗性を改善した疎水性化合物系乾燥収縮低減剤の諸特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 79 巻第 696 号, PP.191-200, 2014.2